

EVALUASI PENENTUAN KEBUTUHAN AIR PENGOLAHAN TANAH DENGAN PERSAMAAN VAN DE GOOR & ZIJLSTRA PADA BUDIDAYA PADI SAWAH

Chusnul Arif^{1*}, Moh Yanuar J. Purwanto¹, Satyanto Krido Saptomo¹, Sutoyo¹,
Arien Heryansyah², dan Hanhan A. Sofiyuddin³

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB University

²Departemen Teknik Sipil, Universitas Ibnu Khaldun

³Balai Teknik Irigasi, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian PUPR

*chusnul_arif@apps.ipb.ac.id

Pemasukan: 3 November 2022 Perbaikan: 28 November 2022 Diterima: 28 November 2022

Intisari

Dalam Kriteria Perencanaan (KP-01) tentang Perencanaan Jaringan Irigasi disebutkan bahwa penentuan kebutuhan air irigasi untuk penyiapan lahan ditentukan dengan persamaan *Van de Goor & Zijlstra* (VGZ). Perkembangan teknologi usahatani pada pengolahan tanah dengan mekanisasi mempercepat waktu pengolahan tanah serta penggenangan yang hemat air menjadi pertimbangan melakukan evaluasi kebutuhan air. Makalah ini bertujuan mengevaluasi penentuan kebutuhan air irigasi penyiapan lahan dengan model VGZ dan membandingkan dengan model neraca air (*water balance analysis* (WBA)) dengan menerapkan irigasi berselang. Dalam evaluasi, simulasi dan penelitian lapang dilakukan khususnya untuk melakukan validasi model WBA di lahan Balai Besar Peramalan Organisme Penggangu Tanaman (BBPOPT), Karawang, Jawa Barat. Simulasi dilakukan pada tekstur tanah liat berat dengan dua kondisi perkolasasi ($P = 1,5$ mm dan $P = 2,0$ mm) dan evaporasi ($E = 3,5$ mm dan $E = 5,5$ mm) dengan periode penyiapan lahan 20 dan 30 hari. Hasilnya menunjukkan kebutuhan air irigasi pada model VGZ berkisar antara 303–379 mm/hari atau setara 1,46–1,92 l/s. Sedangkan model WBA membutuhkan air irigasi yang lebih kecil berkisar antara 142–275 mm/hari, dengan debit sebesar 0,74 l/s dan 1,11 l/det. Model WBA dapat menghemat air irigasi sebesar 27–42%. Hasil simulasi ini didukung hasil observasi lapang dengan koefisien determinasi model (R^2) sebesar 0,97 sampai 0,99. Dari hasil ini, penentuan kebutuhan air irigasi pada penyiapan lahan di KP-01 perlu ditinjau ulang dengan memperhatikan periode lama penyiapan lahan yang lebih singkat dengan penggunaan traktor maupun kebutuhan tinggi genangan setiap proses penyiapan lahan.

Kata Kunci: irigasi berselang, model *Van de Goor & Zijlstra*, neraca air, padi sawah

Latar Belakang

Seiring dengan perubahan iklim yang memberikan dampak pada berbagai bidang termasuk pertanian, usaha adaptasi dan mitigasi perlu dilakukan untuk mengurangi dampak negatif yang terjadi. Perubahan iklim ini mengakibatkan perubahan pola

hujan di Kawasan Asia Tenggara (Loo dkk., 2015). Pola hujan yang berubah pada musim kemarau dan penghujan dapat menyebabkan ketersediaan sumberdaya air lebih terbatas. Terlebih kompetisi penggunaan air untuk memenuhi kebutuhan industri dan domestik terus meningkat. Hal ini menuntut perubahan dalam paradigma pengelolaan air khususnya di area dengan perubahan demografi dan iklim (Tzanakakis dkk., 2020). Dalam konteks pengelolaan air pertanian, penggunaan air irigasi perlu lebih efektif dan efisien.

Sampai saat ini, besarnya kebutuhan air irigasi untuk budidaya padi sawah ditentukan berdasarkan Kriteria Perencanaan (KP-01) tentang Perencanaan Jaringan Irigasi tahun 2013. Dalam KP-01 tersebut, kebutuhan air irigasi dibagi dalam dua periode, yaitu kebutuhan air penyiapan lahan dan selama budidaya. Pada periode pertama, kebutuhan air irigasi ditentukan berdasarkan persamaan *Van de Goor & Zijlstra* (VGZ). Dalam metode ini laju air diasumsikan konstan dengan satuan l/s dan skenario penyiapan lahan selama 30 dan 45 hari.

Metode ini sudah cukup lama digunakan dan belum pernah dilakukan evaluasi. Penelitian untuk mengevaluasi model tersebut masih minim. Anggraeni dan Kalsim (2013) membandingkan metode VGZ dan Cropwat 8.0, hasilnya menunjukkan bahwa metode VGZ lebih banyak membutuhkan air dibandingkan dengan metode Cropwat 8.0. Hal ini wajar mengingat kebutuhan air penyiapan lahan pada metode VGZ diberikan dengan laju air konstan tanpa memperhitungkan dinamika perubahan evapotranspirasi maupun parameter lainnya. Selain itu, perkembangan teknologi usahatani pada pengolahan tanah dengan mekanisasi mempercepat waktu pengolahan tanah serta penggenangan yang hemat air menjadi pertimbangan melakukan evaluasi kebutuhan air penyiapan lahan. Sayangnya dalam metode Cropwat 8.0, hal ini belum menjadi pertimbangan dalam KP-01 karena masih dalam bentuk software dan tidak mudah dimasukkan KP-01.

Oleh sebab itu, perlu adanya evaluasi metode VGZ dengan metode lain. Pendekatan neraca air (*Water Balance Analysis/WBA*) merupakan metode yang sederhana dan mudah dalam evaluasi karena mempertimbangkan seluruh aspek baik air masuk (*inflow*) maupun air keluar (*outflow*). Metode ini telah digunakan untuk estimasi irigasi sistem SRI tidak tergenang (Arif dkk., 2012) dan SRI organik (Arif dkk., 2019). Hasilnya menunjukkan bahwa metode ini menghasilkan performansi yang sangat baik dengan R^2 lebih besar 0,8 dengan kesalahan pendugaan yang rendah.

Adapun tujuan dari studi ini adalah mengevaluasi penentuan kebutuhan air irigasi penyiapan lahan dengan model VGZ dan membandingkan dengan model WBA dengan menerapkan irigasi berselang. Secara spesifik tujuan studi ini adalah: a) membandingkan kebutuhan air irigasi antara metode VGZ dan WBA; dan b) melakukan validasi model WBA dengan data observasi lapang.

Metodologi Studi

Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap, tahap simulasi dan observasi lapang. Penelitian lapangan dilakukan di lahan padi sawah Balai Besar Peramalan Organisme Pengganggu Tanaman (BBPOPT), Karawang, Jawa Barat pada bulan Juli

2022. Terdapat dua lahan yang digunakan yaitu untuk periode penyiapan lahan 20 dan 30 hari. Adapun luas lahan yang digunakan hampir sama berturut-turut 3200 m² dan 3300 m² untuk penyiapan lahan 20 dan 30 hari.

Tahapan Pengembangan Model

Untuk metode VGZ, kebutuhan air didasarkan pada laju air konstan dalam l/s selama periode penyiapan lahan dengan persamaan berikut ini:

$$IR = \frac{Me^K}{(e^K - 1)} \quad (1)$$

$$K = \frac{MT}{S} \quad (2)$$

dengan keterangan:

IR : Kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan, mm/hari

M : Kebutuhan air untuk mengganti/mengkompensasi kehilangan air akibat evapotranspirasi dan perkolasasi di sawah yang sudah dijenuhkan $M = Eo + P$, mm/hari

E_o : Evaporasi air terbuka yang diambil $1,1 \cdot ET_o$ selama penyiapan lahan, mm/hari, dan P adalah Perkolasi

ET_o : Evapotranspirasi (mm/hari)

T : jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S : Kebutuhan air, untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50 mm, yakni $200 + 50 = 250$ mm. Atau S bernilai 300 mm untuk lahan yang telah dibiarkan selama jangka waktu yang lama (2,5 bulan atau lebih)

Sedangkan untuk metode WBA, perhitungan kebutuhan air irigasi didasarkan pada prinsip Indikator Komodo Water Management Petani (IKWMP) dengan irigasi berselang-selang untuk mengkondisikan tinggi muka air tertentu pada hari tertentu. IKWMP ini didasarkan pada survei ke beberapa lokasi penyiapan lahan. Adapun skenario tinggi muka air disajikan pada Tabel 1. Skenario didapatkan dari survey beberapa lokasi berdasarkan yang umumnya dilakukan oleh petani.

Tabel 1. Skenario tinggi muka air skema IKWMP untuk periode 20 dan 30 hari

| Periode 30 hari (Hari ke-) | Periode 20 hari (Hari ke-) | Kegiatan | Tinggi Genangan | Jenis Pengolah Tanah |
|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------------|
| 1-5 | 1-2 | Pemberian Air Awal: Genangan Awal | 3 cm | - |
| 6-7 | 3-4 | Pembajakan | 5 cm | Bajak Singkal |
| 8-10 | 5-7 | Genangan Pasca Bajakan | 5 cm | - |
| 11-14 | 8-9 | Penggaruan | 3 cm | Bajak rotari |
| 15-20 | 10-12 | Genangan pasca garu | 3 cm | - |
| 21-25 | 13-15 | Perataan | 3 cm | Bajak rotari/HOK |
| 26-29 | 16-19 | Genangan Pasca rataan | 3 cm | - |
| 30 | 20 | Tanam | 3 cm | - |

Dari skenario diatas, kebutuhan air dihitung dengan persamaan *WBA* berikut ini:

$$IR = \Delta WL + S - Re - (E_o + P) \quad (3)$$

dengan keterangan:

IR : Kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan, mm/hari

E_o : Evaporasi air terbuka yang diambil 1,1, ET_o selama penyiapan lahan, mm/hari

P : Perkolasi (mm/hari)

Re : Hujan efektif (mm/hari)

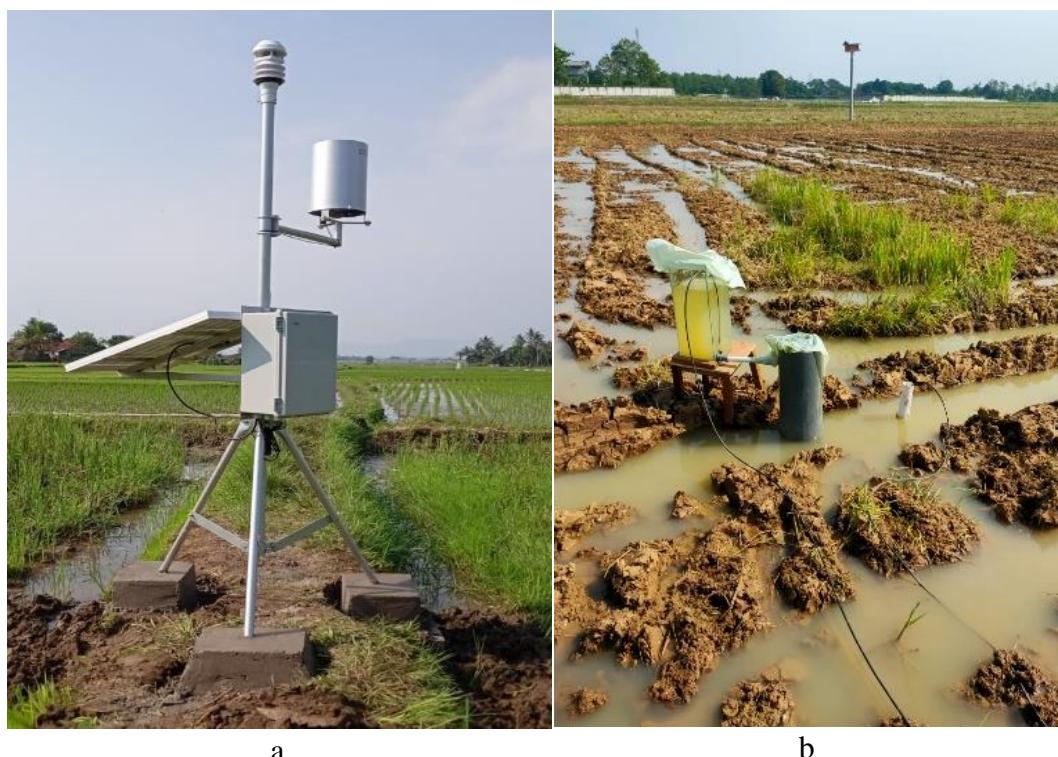
S : Kebutuhan air untuk penjenuhan (didasarkan pada kondisi awal kelembaban tanah), mm/hari

ΔWL : Perubahan tinggi muka air (selisih tinggi muka air yang dikehendaki dengan tinggi muka air awal), mm/hari

Baik metode *VGZ* dan *WBA*, simulasi dilakukan pada tekstur tanah liat berat dengan dua kondisi perkolasi ($P = 1,5$ mm dan $P = 2,0$ mm) dan evaporasi ($E = 3,5$ mm dan $E = 5,5$ mm) dan hujan efektif sebesar 0.

Tahapan Observasi Lapangan dan Validasi Model

Pada observasi lapangan, *automatic weather station (AWS)* dan pengamatan tinggi muka air digunakan untuk menentukan parameter hujan, evaporasi, evapotranspirasi, perkolasi dan perubahan tinggi muka air di lahan (Gambar 1).



Gambar 1. a) Automatic Weather Station (AWS), b) Pengamatan tinggi muka air

Dari data pada AWS, evapotranspirasi potensial ditentukan dengan persamaan Penman-Monteith berikut ini (Allen dkk., 1998):

$$ETp = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{mean} + 273} u(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u)} \quad (4)$$

dengan keterangan:

- ETp : evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- Δ : kurva kemiringan tekanan uap (kPa/ $^{\circ}$ C)
- G : flux panas tanah (MJ/m 2 hari),
- e_s : tekanan uap jenuh (kPa)
- u : kecepatan angin (m/s)
- Rn : radiasi netto ekivalen evaporasi (mm/hari)
- T_{mean} : suhu rata-rata harian ($^{\circ}$ C)
- γ : konstanta psychrometrik (mb/ $^{\circ}$ C)

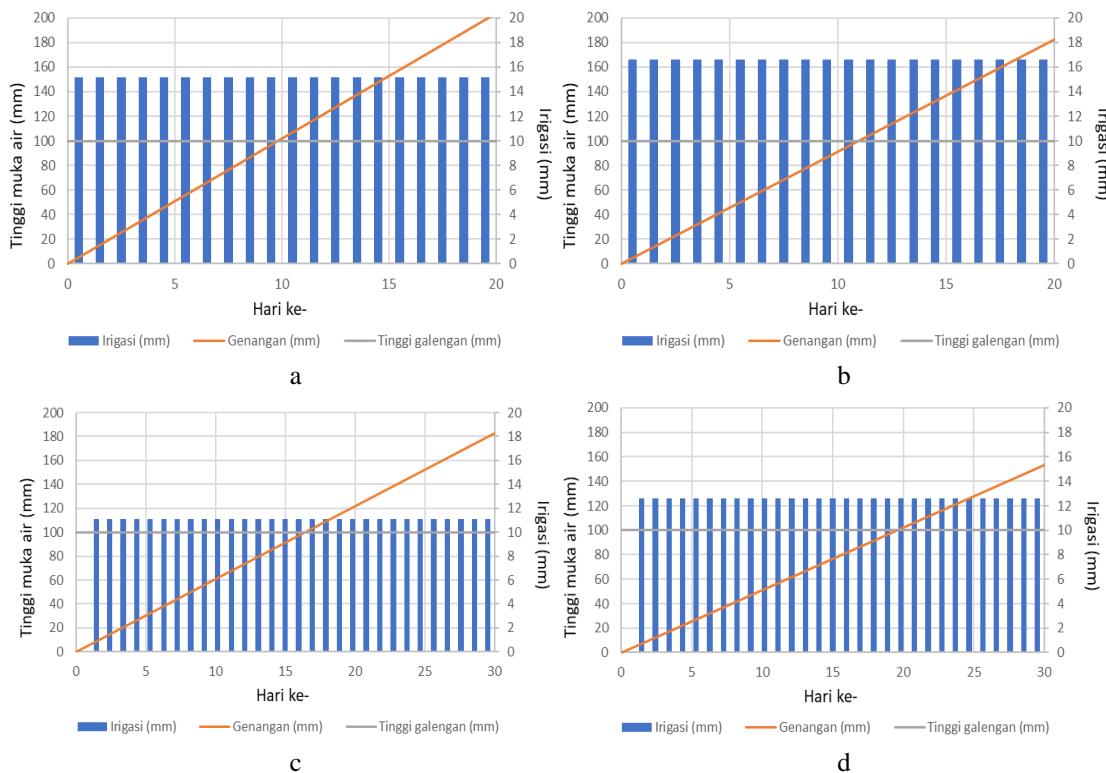
Berhubung kondisi tanah tergenang dan cenderung jenuh, maka nilai evaporasi (E) ditentukan sebesar 1,1 ETp . Adapun validasi dilakukan untuk menentukan perfomansi model dengan nilai R^2 (koefisien determinasi) antara nilai tinggi muka air observasi lapang dan pendugaan model.

Hasil Studi dan Pembahasan

Perbandingan kebutuhan air irigasi VGZ dan WBA

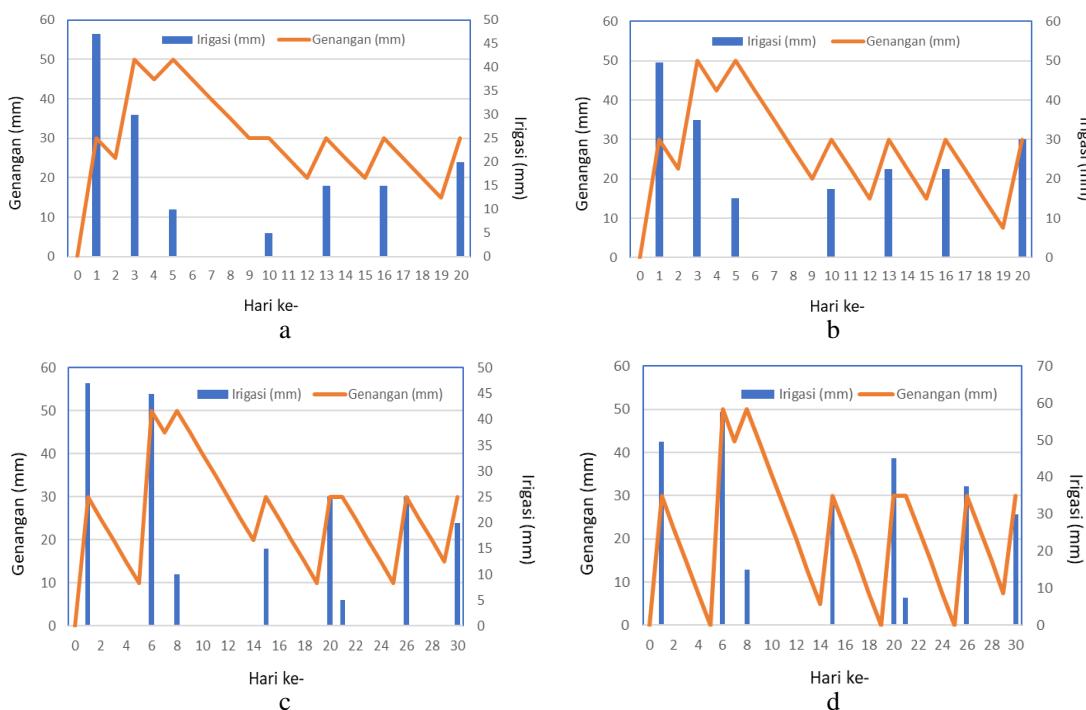
Pada periode 20 hari dengan M sebesar 5,0 mm (Gambar 2a) dibutuhkan debit irigasi konstan sebesar 1,76 l/s atau setara 15,2 mm/hari. Metode ini meningkatkan tinggi muka air secara kontinyu di lahan, dan menyebabkan limpasan setelah hari ke-10 (dengan asumsi tinggi galengan 10 cm). Hal yang sama juga terjadi ketika nilai M sebesar 7,5 mm (Gambar 2b), dengan laju irigasi konstan sebesar 1,92 l/s (setara 16,62 mm/hari) limpasan terjadi pada hari ke-12.

Periode penyiapan lahan yang lebih lama 30 hari juga menyebabkan hal yang sama, dengan irigasi sebesar 1,28 l/s (setara 11,1 mm/hari) dan 1,46 l/s (setara 12,6 mm/hari) menyebabkan limpasan terjadi pada hari ke-17 dan 20 untuk skenario M sebesar 5,0 mm dan 7,5 mm. Hal ini menunjukkan bahwa model VGZ cukup boros karena irigasi melebihi evaporasi dan perkolasasi yang menyebabkan akumulasi kenaikan tinggi muka air. Secara umum, limpasan terjadi karena irigasi terlalu besar dan harus dikurangi supaya lebih efisien (Ebrahimian dkk., 2020).



Gambar 2. Tinggi muka air dan irigasi pada model VGZ dengan beberapa skenario:
a) periode 20 hari dengan $M = 5,0 \text{ mm}$, b) periode 20 hari dengan $M = 7,5 \text{ mm}$, c)
periode 30 hari dengan $M = 5,0 \text{ mm}$ dan d) periode 30 hari dengan $M = 7,5 \text{ mm}$

Sedangkan tinggi muka air dan irigasi pada model WBA dengan skenario tinggi muka air sesuai dengan IKWMP (Tabel 1) disajikan pada Gambar 3. Tinggi muka air berfluktuatif sesuai dengan ketinggian yang diharapkan pada Tabel 1, dengan kebutuhan air yang cukup tinggi diawa persiapan lahan. Kebutuhan air irigasi pada hari pertama sebesar kurang lebih 50 mm, setelah itu dapat diberikan berselang dengan jumlah air irigasi lebih sedikit. Adapun debit rata-rata irigasi yang diperlukan pada periode 20 hari sebesar 0,82 l/s dan 1,11 l/s, sedangkan pada periode 30 hari sebesar 0,74 l/s dan 1,06 l/s. Dengan skenario model WBA ini tinggi genangan dapat dikendalikan sesuai dengan IKWMP dengan minimalisasi limpasan. Model WBA atau ada yang menyebut *Soil Water Balance (SWB)* merupakan metode yang digunakan oleh FAO dalam menentukan kebutuhan air dan penjadwalan irigasi (Pereira dkk., 2020), sehingga layak juga digunakan dalam KP Irigasi.



Gambar 3. Tinggi muka dan irigasi pada model WBA dengan beberapa skenario:
a) periode 20 hari dengan $M = 5,0 \text{ mm}$, b) periode 20 hari dengan $M = 7,5 \text{ mm}$, c)
periode 30 hari dengan $M = 5,0 \text{ mm}$ dan d) periode 30 hari dengan $M = 7,5 \text{ mm}$

Tabel 2. Perbandingan irigasi total antara model VGZ dan WBA

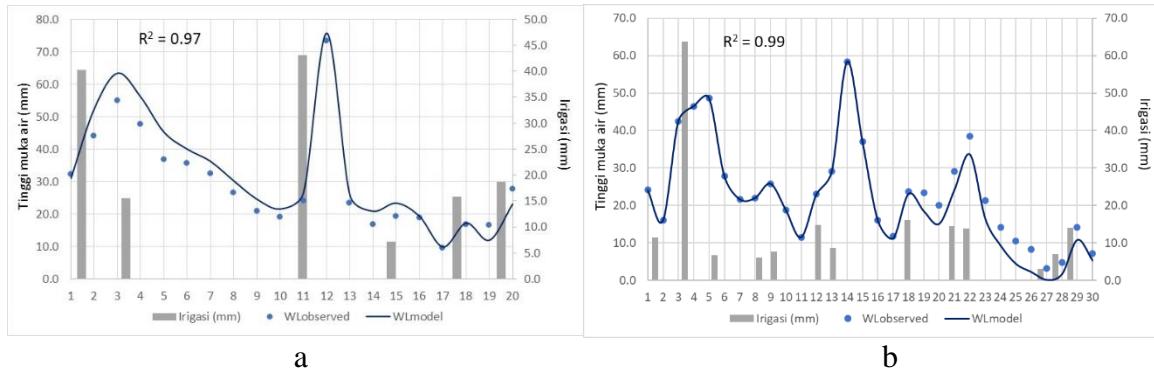
| Nilai M (mm) | 20 hari (mm) | | 30 hari (mm) | |
|--------------|--------------|-----|--------------|-----|
| | WBA | VGZ | WBA | VGZ |
| 5,0 | 142 | 303 | 192 | 332 |
| 7,5 | 192 | 332 | 275 | 379 |

Hal tersebut juga didukung dari hasil simulasi yang menunjukkan bahwa model WBA lebih hemat air dibandingkan dengan model VGZ. Dengan nilai M dan periode penyiapan lahan yang berbeda, model WBA dapat menghemat air 27 - 42% dibandingkan model VGZ. Hal ini wajar mengingat model VGZ diturunkan secara analitik untuk mendapatkan debit irigasi konstan untuk mempertahankan lahan terus menerus tergenang. Seiring dengan berkembangnya teknologi hemat air, irigasi tergenang terus menerus ini tidak sejalan dengan konsep peningkatan efisiensi irigasi, karena cendurung boros air. Data empiris dari beberapa studi menunjukkan bahwa irigasi berselang sebagai irigasi alternatif yang lebih hemat air dengan penghematan air berkisar 16-43% (Nakhjiri dkk., 2021).

Validasi model WBA

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa model WBA mampu diterapkan dengan baik dengan indikator tinggi muka air model (*WLmodel*) yang mendekati dengan observasi lapangan (*WLobserved*) dengan nilai R^2 sebesar 0,97 dan 0,99 untuk periode 20 dan 30 hari (Gambar 4). Dalam bidang hidrologi, nilai tersebut

lebih dari 0,6 yang menunjukkan model sangat baik dan dapat diterima (Gaviria and Carvajal-Serna, 2022).



Gambar 4. Perbandingan tinggi muka air model dan observasi dan irigasi pada model WBA: a) periode 20 hari, b) periode 30 hari

Kebutuhan air irigasi pada model WBA terlihat bahwa kebutuhan terbanyak terjadi pada awal penyiapan lahan, sebesar 55-64 mm untuk periode 20 dan 30 hari (Gambar 4). Setelah itu, kebutuhan air irigasi cenderung menurun dan kecil. Hal tersebut sesuai dengan simulasi model WBA (Gambar 3).

Tabel 3. Komponen neraca air pada observasi lapangan

| Parameter | Total (mm) | |
|------------------|-----------------|-----------------|
| | Periode 20 hari | Periode 30 hari |
| <i>Inflow:</i> | | |
| Irigasi | 140,5 | 194,9 |
| Curah Hujan | 192,2 | 216,6 |
| <i>Outflow:</i> | | |
| Evapotranspirasi | 91,3 | 140,6 |
| Perkolasi | 96,7 | 68,0 |
| Drainase | 144,8 | 202,9 |

Nilai total irigasi pada observasi lapangan sebesar 140,5 mm dan 194,9 mm untuk periode 20 dan 30 hari (Tabel 3). Nilai tersebut mendekati nilai simulasi untuk nilai M sebesar 5,0 mm. Pada simulasi tercatat total irigasi sebesar 142 dan 192 mm untuk periode 20 dan 30 hari. Yang membedakan hasil simulasi dan observasi adalah curah hujan dan drainase. Tercatat curah hujan sebesar 192,2 mm dan 216,6 mm untuk periode 20 dan 30 hari dengan drainase sebesar 144,8 mm dan 202,9 mm. Sumber utama drainase adalah curah hujan yang terjadi setelah pemberian air irigasi. Hal ini menunjukkan bahwa curah hujan memiliki korelasi tinggi dengan limpasan (drainase). Dari penelitian sebelumnya korelasi curah hujan dan limpasan dapat mencapai R^2 sebesar 0,98 (Arif dkk., 2012). Hal ini akan berimbas pada turunnya curah hujan efektif. Secara umum, dari hasil observasi model WBA dapat diterapkan untuk penentuan KP irigasi yang lebih efektif dan efisien.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Model *Van de Goor & Zijlstra (VGZ)* yang digunakan dalam KP-01 Perencanaan Jaringan Irigasi tahun 2013 dievaluasi dan dibandingkan dengan model *Water Balance Analysis (WBA)* dengan konsep dan prinsip Indikator Komado *Water Management Petani (IKWMP)* dengan irigasi berselang. Hasilnya menunjukkan bahwa model *WBA* lebih hemat air sebesar 27 – 42 % dibandingkan model *VGZ*. Model *WBA* lebih hemat air karena irigasi diberikan secara berselang, sedangkan model *VGZ* diberikan secara kontinyu dengan debit konstan yang menyebabkan terjadinya limpasan. Model *WBA* juga dapat diterapkan di lapangan dengan validasi model dengan R^2 sebesar 0,97 dan 0,99 untuk periode penyiapan lahan 20 dan 30 hari.

Saran

Penentuan kebutuhan air penyiapan lahan dengan model *VGZ* dalam KP-01 Perencanaan Jaringan Irigasi tahun 2013 perlu ditinjau ulang dengan dasar metode tersebut lebih boros dalam penentuan jumlah air irigasi. Selain itu, periode lama penyiapan lahan yang lebih singkat dengan penggunaan traktor maupun kebutuhan tinggi genangan setiap proses penyiapan lahan yang tidak menuntut irigasi tergenang terus menerus.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada *Asian Development Bank (ADB)* yang telah mendanai studi ini dalam rangkaian kegiatan “*NPIC Consulting Services for Guideline Improvement IPDMIP*” tahun 2021-2022.

Daftar Referensi

- Allen, R., Pareira, L., Raes, D., Smith, M., 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome.
- Anggraeni, I.D.S., Kalsim, D.K., 2013. Perbandingan Perhitungan Kebutuhan Irigasi Padi Metoda KP-01 dengan Cropwat-8.0. *Jurnal Irigasi* 8, 15–23.
- Arif, C., Setiawan, B.I., Mizoguchi, M., Doi, R., 2012. Estimation of Water Balance Components in Paddy Fields under Non-Flooded Irrigation Regimes by using Excel Solver - SciAlert Responsive Version [WWW Document]. *Journal of Agronomy*, 11: 53-59. <https://doi.org/10.3923/ja.2012.53.59>
- Arif, C., Setiawan, B.I., Saputra, S.F.D., Mizoguchi, M., 2019. Analisis Neraca Air pada Pengelolaan Air dalam System of Rice Intensification-Organik (SRI-Organik) di Jawa Barat, Indonesia. *Jurnal Irigasi* 14, 17–24.
- Ebrahimian, H., Dialameh, B., Hosseini-Moghari, S.-M., Ebrahimian, A., 2020. Optimal conjunctive use of aqua-agriculture reservoir and irrigation canal for paddy fields (case study: Tajan irrigation network, Iran). *Paddy Water Environ* 18, 499–514. <https://doi.org/10.1007/s10333-020-00797-5>

- Eisapour Nakhjiri, S., Ashouri, M., Sadeghi, S.M., Mohammadian Roshan, N., Rezaei, M., 2021. The Effect of Irrigation Management and Nitrogen Fertilizer On Grain Yield and Water-use Efficiency of Rice Cultivars in Northern Iran. *Gesunde Pflanzen* 73, 359–366. <https://doi.org/10.1007/s10343-021-00562-6>
- Gaviria, C., Carvajal-Serna, F., 2022. Regionalization of flow duration curves in Colombia. *Hydrology Research* 53, 1075–1089. <https://doi.org/10.2166/nh.2022.022>
- Loo, Y.Y., Billa, L., Singh, A., 2015. Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall, in Southeast Asia. *Geoscience Frontiers*, Special Issue: Geoinformation techniques in natural hazard modeling 6, 817–823. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2014.02.009>
- Pereira, L.S., Paredes, P., Jovanovic, N., 2020. Soil water balance models for determining crop water and irrigation requirements and irrigation scheduling focusing on the FAO56 method and the dual Kc approach. *Agricultural Water Management* 241, 106357. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106357>
- Tzanakakis, V.A., Paranychianakis, N.V., Angelakis, A.N., 2020. Water Supply and Water Scarcity. *Water* 12, 2347. <https://doi.org/10.3390/w12092347>